桑叶粉对新西兰白兔免疫与抗氧化功能及肌肉风味的影响

王曼曼[1,2]　闫晓荣[1,2]　杨乃苏[3]　陈　阳[1,2]　朱慈根[3]　潘雨来[3]　吴信生[1,2*]

(1.扬州大学动物科学与技术学院，扬州 225009；2.江苏省动物遗传繁育与分子设计重点实验室，扬州 225009；3.江苏省金陵种兔场，江宁 210041)

摘　要：本试验旨在研究饲粮中添加不同水平桑叶粉对新西兰白兔免疫与抗氧化功能及肌肉风味的影响。选用 120 只 35 日龄断奶的新西兰白兔，随机分为 4 组，每组 3 个重复，每个重复 10 只（公母各占 1/2）。4 组试验兔饲喂桑叶粉添加水平分别为 0（对照组）、15%（试验Ⅰ组）、20%（试验Ⅱ组）、25%（试验Ⅲ组）的试验饲粮，试验期为 35 d。结果显示：试验Ⅰ组和试验Ⅱ组血清酸性磷酸酶(ACP)活性和白细胞介素-6(IL-6)含量均显著高于对照组（P＜0.05)。随着桑叶粉添加水平的增加，血清溶菌酶（LMZ）活性呈上升趋势，且试验Ⅱ组和试验Ⅲ组与对照组差异显著(P＜0.05)。试验Ⅰ组血清过氧化氢酶(CAT)活性极显著高于对照组和试验Ⅲ组(P＜0.01)。血清丙二醛（MDA）含量在各试验组间无显著差异(P＞0.05)，但各试验组均显著低于对照组(P＜0.05)。随着桑叶粉添加水平的增加，血清总抗氧化能力（T-AOC）呈现上升趋势，且各试验组均显著高于对照组(P＜0.05)。试验Ⅰ组和试验Ⅱ组背最长肌中肌苷酸含量均显著高于对照组(P＜0.05)。试验Ⅱ组和试验Ⅲ组腿肌中肌苷酸含量均显著高于对照组(P＜0.05)。试验Ⅰ组与试验Ⅱ组背最长肌和腿肌中必需氨基酸、鲜味氨基酸、总氨基酸以及多不饱和脂肪酸含量均高于对照组（P>0.05）。由此得出，桑叶粉在改善新西兰白兔免疫与抗氧化功能及肌肉风味方面有很好的效果，并且以 15%~20%添加水平效果较佳。

关键词：桑叶粉；新西兰白兔；肌苷酸；风味

中图分类号：S963　　文献标识码:A　　文章编号：

我国是种植桑树面积最大的国家[1]，桑树资源非常丰富，但一直仅作为蚕的食物，造成

收稿日期：2017-03-17
基金项目:现代农业产业技术体系建设专项（CARS-44-1）；江苏高校优势学科建设工程（PAPD 2014-134）
作者简介:王曼曼（1993-），女，安徽阜阳人，硕士研究生，从事动物遗传育种研究。E-mail: 1371113528@qq.com
*通信作者:吴信生，教授，博士生导师，E-mail: xswu@yzu.edu.cn

大量资源浪费。随着人们对资源的开发利用，发现桑叶中含有丰富的氨基酸、脂肪酸、维生素、微量元素、矿物质元素和生物活性物质等，具有极高的营养价值。与苜蓿进行成分对比分析，发现桑叶具有更高的蛋白质、碳水化合物含量和更多的氨基酸种类[2]。体内和体外试验均发现桑叶作为动物饲料是具有很高的消化率，通常情况下，畜禽对桑叶的消化率在70%~90%[2]。结合桑叶具有的产量大、分布地域广泛以及良好的适口性等特点[3]，可以将其作为一种优良的畜禽蛋白质饲料进行开发。

研究发现，桑叶含有多种天然生物活性物质，如黄酮类化合物、多糖、谷甾醇、异槲皮苷、γ-氨基酸、1-脱氧野尻霉素、超氧化物歧化酶等，具有降低血压、血糖，抗过敏，抗氧化和抗衰老作用，能增强机体的耐受力和抗病能力[4]。同时，用添加桑叶的饲粮饲喂畜禽能够改善肉的品质和风味。常文环[5]研究发现，在饲粮中添加桑叶粉能够显著提高鸡肉的嫩度、鲜味，改善鸡肉的风味品质。吴东等[6]研究发现，在饲粮中添加 3%、5%、7%的桑叶粉可显著提高淮南麻黄鸡鸡肉中酪氨酸、苏氨酸、异亮氨酸、苯丙氨酸、组氨酸的含量，从而改善鸡肉的风味。郭建军等[7]研究发现，在育肥猪饲粮中添加鲜桑叶可以增加猪肉中肌苷酸、维生素 E、亚油酸、总氨基酸和赖氨酸的含量，降低猪肉胆固醇的含量。石艳华等[8]将桑叶粉添加到饲粮中饲喂家兔，结果发现饲喂桑叶可使家兔的肉质更加细腻，膻味变淡，口感更佳。本试验拟在饲粮中添加不同水平桑叶粉，研究其对新西兰白兔免疫与抗氧化功能以及不同部位肌肉风味物质肌苷酸、脂肪酸和氨基酸含量的影响，并筛选出合适的桑叶粉添加水平，以期为桑叶粉的开发利用提供理论参考。

1　材料与方法

1.1　试验材料

桑叶样品采摘于江苏省镇江市，将采摘的桑叶自然晒干，粉碎至 80 目以制成桑叶粉（干物质含量为 84.99%，粗蛋白质含量为 17.97%，粗脂肪含量为 4.47%，粗纤维含量为 21.37%，粗灰分含量为 12.32%），常温干燥环境下保存备用。

1.2　试验动物与试验饲粮

选择120只体重相近、健康的35日龄断奶新西兰白兔，随机分为4个组，每组3个重复，每个重复10只（公母各占1/2）。根据新西兰白兔的营养需求，并结合长期饲养经验，确定试验饲粮的营养水平。4种试验饲粮中苜蓿草粉与桑叶粉总配比均为32%，其中桑叶粉的添

加水平分别为0（对照组）、15%（试验Ⅰ组）、20%（试验Ⅱ组）、25%（试验Ⅲ组）。试验期为35 d。试验饲粮组成及营养水平见表1。

表1　试验饲粮组成及营养水平（风干基础）

Table 1　Composition and nutrient levels of experimental diets　（air-dry basis）　　%

项目 Items	对照组 Control group	试验Ⅰ组 Trial group Ⅰ	试验Ⅱ组 Trial group Ⅱ	试验Ⅲ组 Trial group Ⅲ
原料 Ingredients				
苜蓿草粉 Alfalfa meal	32.00	17.00	12.00	7.00
桑叶粉 Mulberry leaf powder		15.00	20.00	25.00
豆粕 Soybeam meal	10.00	10.00	10.00	10.00
麸皮 Bran	28.00	28.00	28.00	28.00
预混料 Premix[1)]	12.00	12.00	12.00	12.00
三七糠 Notoginseng bran	12.00	12.00	12.00	12.00
菜籽饼 Rapeseed cake	4.00	4.00	4.00	4.00
碳酸氢钙 $CaHPO_4$	0.75	0.75	0.75	0.75
矿源 Mineral resources[2)]	0.75	0.75	0.75	0.75
食盐 NaCl	0.50	0.50	0.50	0.50
合计 Total	100.00	100.00	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels				
粗蛋白质 CP	19.97	18.50	18.41	18.94
粗纤维 CF	19.01	19.00	17.48	17.04

[1)]预混料为每千克饲粮提供 The premix provided the following per kg of diets：VA 5 000 IU，VD 600 IU，VE 50 mg，VK 2 mg，VB_1 3 mg，VB_2 6 mg，VB_5 8 mg，VB_6 1 mg，VB_{12} 0.05 mg。

[2)]矿源为每千克饲粮提供 Mineral resources provided the following per kg of diets：Fe 100 mg，Cu 20 mg，Zn 90 mg，Mn 30 mg，Mg 150 mg。

1.3　饲养管理

试验组与对照组的新西兰白兔均采用笼养，各组饲粮均加工成颗粒料，统一饲喂，每日饲喂 2 次，自由饮水和采食，试验期间采用常规饲养管理和免疫程序，环境条件均保持一致。每日清扫兔舍，自然采光与通风。

1.4　样品采集

1.4.1　血样采集

饲养试验结束后，每组选取 21 只，共选择 84 只健康兔，进行心脏采血（10 mL/只），将

采集的血液静置 30 min，3 500 r/min 离心 15 min，及时分离血清，置-20 ℃保存，用于血清相关指标测定。

1.4.2 肌肉样采集

饲养试验结束后，全部试验兔禁食 12 h 后称重，屠宰放血后剥开皮肤，取背最长肌和腿肌，进行肌肉风味物质含量测定。

1.5 血清免疫与抗氧化指标的测定

1.5.1 血清免疫指标的测定方法

酸性磷酸酶(ACP)活性采用比色法测定；溶菌酶(LMZ)活性采用比浊法测定；白细胞介素-2(IL-2)和白细胞介素-6(IL-6)含量均采用酶联免疫吸附试验（ELISA）双抗体一步夹心法测定。上述指标均采用南京建成生物工程研究所生产的试剂盒测定，严格按照说明书操作。

1.5.2 血清抗氧化指标的测定方法

超氧化物歧化酶(SOD)活性采用黄嘌呤氧化酶法测定；过氧化氢酶(CAT)活性采用可见光法测定；丙二醛(MDA)含量采用硫代巴比妥酸(TBA)法测定；总抗氧化能力(T-AOC)采用比色法测定。上述指标均采用南京建成生物工程研究所生产的试剂盒测定，严格按照说明书操作。

1.6 肌肉风味物质含量的测定

肌苷酸含量采用高效液相色谱法测定；脂肪酸含量按照GB/T 9695.2-2008的方法，使用气相色谱仪进行测定；氨基酸含量按照GB/T 5009.124—2003的方法，使用L-8900氨基酸分析仪测定。

1.7 数据统计与分析

使用Excel 2013对数据进行整理，并以平均值±标准差表示。采用SPSS 21.0统计软件对数据进行方差分析和多重比较。

2 结果与分析

2.1 桑叶粉对新西兰白兔血清免疫指标的影响

由表 2 可以看出，各试验组血清 ACP 活性和 IL-6 含量均高于对照组，且试验Ⅰ组和试

验Ⅱ组与对照组差异显著（P＜0.05）。随着桑叶粉添加水平的增加，血清 LMZ 活性呈上升趋势，且试验Ⅱ组和试验Ⅲ组与对照组差异显著（P＜0.05）。血清 IL-2 含量各组间均无显著差异（P＞0.05）。

表 2　桑叶粉对新西兰白兔血清免疫指标的影响

Table 2　Effects of mulberry leaf powder on serum immune indexes of New Zealand White rabbits

项目 Items	对照组 Control group	试验Ⅰ组 Trial group Ⅰ	试验Ⅱ组 Trial group Ⅱ	试验Ⅲ组 Trial group Ⅲ
酸性磷酸酶 ACP/(U/dL)	6.44±0.0.26[b]	8.13±0.48[a]	7.91±0.35[a]	7.41±0.37[ab]
溶菌酶 LMZ/(μg/mL)	0.94±0.14[b]	1.23±0.20[ab]	1.32±0.19[a]	1.38±0.16[a]
白细胞介素-2 IL-2/(ng/mL)	10.17±1.37	10.31±1.37	10.14±1.67	9.79±1.55
白细胞介素-6 IL-6/(pg/mL)	246.44±23.81[b]	275.12±32.04[a]	265.93±30.21[a]	259.20±23.08[ab]

同行数据肩标不同大写字母表示差异极显著（P<0.01），不同小写字母表示差异显著（P<0.05）。下表同。

In the same row, values with different capital letter superscripts mean extremely significant difference (P<0.01), and with different small letter superscripts mean significant difference (P<0.05). The same as below.

2.2　桑叶粉对新西兰白兔血清抗氧化指标的影响

由表 3 可以看出，饲粮中添加不同水平桑叶粉对新西兰白兔血清中 SOD 活性没有显著影响（P＞0.05）。各试验组血清 CAT 活性均高于对照组，且试验Ⅰ组与对照组差异极显著（P＜0.01），同时试验Ⅰ组还极显著高于试验Ⅲ组（P＜0.01）。血清 MDA 含量在各试验组间无显著差异（P＞0.05），但各试验组均显著低于对照组（P＜0.05）。随着桑叶粉添加水平的增加，血清 T-AOC 呈现上升趋势，且各试验组均显著高于对照组（P＜0.05）。

表 3　桑叶粉对新西兰白兔血清抗氧化指标的影响

Table 3　Effects of mulberry leaf powder on serum antioxidant indexes of New Zealand White rabbits

项目 Items	对照组 Control group	试验Ⅰ组 Trial group Ⅰ	试验Ⅱ组 Trial group Ⅱ	试验Ⅲ组 Trial group Ⅲ
超氧化物歧化酶 SOD/(U/mL)	136.21±9.92	139.48±3.44	138.76±4.93	136.06±10.02
过氧化氢酶 CAT/(U/mL)	3.98±0.29^{Bb}	4.70±0.16^{Aa}	4.47±0.23^{ABab}	4.19±0.18^{Bb}
丙二醛 MDA/(nmol/mL)	3.31±0.33^{a}	2.89±0.43^{b}	2.61±0.28^{b}	2.76±0.27^{b}
总抗氧化能力 T-AOC/(U/mL)	28.30±1.97^{b}	31.26±1.81^{ab}	33.50±1.91^{a}	34.03±2.28^{a}

2.3 桑叶粉对新西兰白兔不同部位肌肉中风味物质含量的影响

2.3.1 桑叶粉对新西兰白兔不同部位肌肉中肌苷酸含量的影响

由表 4 可以看出，背最长肌中肌苷酸含量以试验Ⅱ组最高，且试验Ⅰ组和试验Ⅱ组显著高于对照组（P<0.05）。腿肌中肌苷酸含量随着桑叶粉添加水平的增加呈现上升趋势，试验Ⅱ组和试验Ⅲ组均显著高于对照组（P<0.05）。

表 4 桑叶粉对新西兰白兔背最长肌和腿肌中肌苷酸含量的影响

Table 4 Effects of mulberry leaf powder on IMP content in *longissmus dorsi* and leg muscle of New Zealand White rabbits mg/g

项目 Items	对照组 Control group	试验Ⅰ组 Trial group Ⅰ	试验Ⅱ组 Trial group Ⅱ	试验Ⅲ组 Trial group Ⅲ
背最长肌 *Longissmus dorsi* muscle	2.81±0.77^{b}	3.29±0.53^{a}	3.36±0.95^{a}	3.13±0.91^{ab}
腿肌 Leg muscle	2.69±0.82^{b}	2.94±0.90^{ab}	3.17±0.64^{a}	3.23±0.88^{a}

2.3.2 桑叶粉对新西兰白兔不同部位肌肉中脂肪酸含量的影响

由表 5 和表 6 可以看出，背最长肌中肉豆蔻酸、花生四烯酸和棕榈油酸含量在各组间差异不显著（P>0.05），腿肌中肉豆蔻酸和棕榈油酸含量在各组间也差异不显著（P>0.05），但花生四烯酸含量表现为各试验组显著高于对照组（P<0.05）。试验Ⅰ组背最长肌和腿肌中亚麻酸含量均显著高于对照组（P<0.05）。各试验组背最长肌和腿肌中多不饱和脂肪酸含量虽与对照组差异不显著（P>0.05），但在数值上均高于对照组。

表 5 桑叶粉对新西兰白兔背最长肌中脂肪酸含量的影响

Table 5 Effects of mulberry leaf powder on fatty acid contents in *longissimus dorsi* muscle of New Zealand White rabbits %

项目 Items	对照组 Control group	试验Ⅰ组 Trial group Ⅰ	试验Ⅱ组 Trial group Ⅱ	试验Ⅲ组 Trial group Ⅲ
肉豆蔻酸 Myristic acid	1.57±0.76	1.41±0.52	1.46±0.59	1.52±0.64
棕榈酸 Palmitic acid	27.60±2.13^{ABab}	28.94±1.99^{Aa}	26.95±2.46^{Bb}	27.13±2.08^{Bb}
棕榈油酸 Palmitoleic acid	1.34±0.43	1.25±0.39	1.11±0.35	1.07±0.40
硬脂酸 Stearic acid	7.53±1.35^{a}	7.76±1.41^{a}	7.25±1.22^{b}	7.19±1.03^{b}
油酸 Oleic acid	21.56±1.66^{a}	21.31±1.44^{ab}	21.03±1.67^{a}	20.78±1.46^{b}
亚油酸 Linoleic acid	26.72±1.95^{Bb}	27.75±2.24^{Aa}	28.08±2.01^{Aa}	27.10±1.77^{ABab}
亚麻酸 Linolenic acid	2.27±0.54^{b}	2.80±0.46^{a}	2.64±0.63^{a}	2.31±0.39^{b}
花生酸 Arachidic acid	0.85±0.10	0.96±0.15	0.90±0.16	0.78±0.13
花生四烯酸 Arachidonic acid	2.60±0.13	3.02±0.16	2.75±0.13	2.66±0.14
DHA	0.15±0.06	0.15±0.04	0.17±0.05	0.16±0.07
饱和脂肪酸 Saturated fatty acid	37.55±2.13	39.07±1.89	36.56±2.01	36.62±2.16
单不饱和脂肪酸 Monounsaturated fatty acid	22.90±1.45	22.56±1.59	22.14±1.27	21.85±1.44
多不饱和脂肪酸 Polyunsaturated fatty acid	31.74±1.68	33.72±1.38	33.64±1.92	32.23±1.73

表 6 桑叶粉对新西兰白兔腿肌中脂肪酸含量的影响

Table 6 Effects of mulberry leaf powder on fatty acid contents in leg muscle of New Zealand White rabbits %

项目 Items	对照组 Control group	试验Ⅰ组 Trial group Ⅰ	试验Ⅱ组 Trial group Ⅱ	试验Ⅲ组 Trial group Ⅲ
肉豆蔻酸 Myristic acid	1.89±0.76	2.17±0.52	2.04±0.59	2.11±0.64
棕榈酸 Palmitic acid	28.61±2.13^{a}	27.35±1.99^{b}	27.17±2.46^{b}	26.94±2.08^{b}
棕榈油酸 Palmitoleic acid	1.30±0.43	1.32±0.39	1.19±0.35	1.10±0.40
硬脂酸 Stearic acid	8.53±1.35	8.76±1.41	8.28±1.22	8.19±1.03

油酸 Oleic acid	20.84±1.66[a]	21.27±1.44[ab]	21.49±1.67[a]	20.62±1.46[b]
亚油酸 Linoleic acid	27.44±1.76[b]	28.18±2.03[a]	27.85±1.99[a]	27.40±1.85[b]
亚麻酸 Linolenic acid	2.42±0.16[b]	2.93±0.19[a]	2.61±0.11[b]	2.53±0.16[b]
花生酸 Arachidic acid	0.75±0.10	0.66±0.15	0.60±0.16	0.58±0.13
花生四烯酸 Arachidonic acid	2.13±0.54[b]	2.46±0.46[a]	2.54±0.63[a]	2.41±0.39[a]
二十二碳六烯酸 Docosahexaenoic acid	0.18±0.01	0.19±0.03	0.20±0.05	0.17±0.02
饱和脂肪酸 Saturated fatty acid	39.78±2.34	38.94±2.51	38.09±2.03	37.82±2.11
单不饱和脂肪酸 Monounsaturated fatty acid	22.14±1.76	22.59±1.64	22.68±1.89	21.72±1.85
多不饱和脂肪酸 Polyunsaturated fatty acid	32.17±1.68	33.76±1.95	33.20±1.84	32.51±2.01

2.3.3 桑叶粉对新西兰白兔不同部位肌肉氨基酸含量的影响

由表 7 和表 8 可以看出，背最长肌中测得 17 种氨基酸，其中各试验组测得的必需氨基酸、鲜味氨基酸及总氨基酸含量均高于对照组，但差异不显著（P>0.05）。赖氨酸含量，背最长肌中试验 I 组与试验 II 组极显著高于对照组与试验III组（P<0.01）；腿肌中各试验组均高于对照组，但差异不显著（P>0.05）。天冬氨酸含量，背最长肌中各试验组均高于对照组，但差异不显著（P>0.05）；腿肌中试验 I 组与试验 II 组差异不显著（P>0.05），二者显著高于对照组与试验III组（P<0.05）。甘氨酸含量，背最长肌中以试验 I 组最高，与试验III组差异不显著（P>0.05），但显著高于对照组和试验 II 组（P<0.05）；腿肌中以试验 II 组最高，与对照组、试验 I 组、试验III组均差异极显著（P<0.01）。

表 7　桑叶粉对新西兰白兔背最长肌中氨基酸含量的影响

Table 7　Effects of mulberry leaf powder on amino acid contents in *longissimus dorsi* muscle of New Zealand white rabbits　　%

项目 Items	对照组 Control group	试验 I 组 Trial group I	试验 II 组 Trial group II	试验III组 Trial group III
天冬氨酸 Asp	1.85±0.28	1.98±0.17	2.06±0.20	1.91±0.30
苏氨酸 Thr	1.01±0.05	1.14±0.07	0.92±0.03	0.97±0.05
丝氨酸 Ser	0.78±0.07	0.92±0.02	0.87±0.04	0.80±0.04
谷氨酸 Glu	2.44±0.31[Bb]	3.07±0.22[Aa]	2.83±0.39[Aa]	2.56±0.26[Bb]

脯氨酸 Pro	0.86±0.06	0.90±0.04	1.15±0.05	1.18±0.02
甘氨酸 Gly	0.70±0.07[b]	0.95±0.05[a]	0.74±0.09[b]	0.88±0.03[a]
丙氨酸 Ala	0.97±0.11	1.06±0.08	1.11±0.16	1.09±0.10
半胱氨酸 Cys	0.28±0.03	0.31±0.01	0.25±0.02	0.27±0.03
缬氨酸 Val	0.96±0.14	1.27±0.10	1.14±0.18	1.05±0.17
蛋氨酸 Met	0.55±0.06	0.64±0.04	0.59±0.07	0.60±0.07
异亮氨酸 Ile	0.72±0.09	0.87±0.16	0.93±0.12	1.04±0.14
亮氨酸 Leu	1.68±0.21[Bb]	2.01±0.13[Aa]	1.76±0.19[Bb]	1.93±0.23[Aa]
酪氨酸 Tyr	0.83±0.15	0.80±0.17	0.85±0.14	0.74±0.19
苯丙氨酸 Phe	0.73±0.16	0.85±0.09	0.97±0.13	1.06±0.15
赖氨酸 Lys	1.69±0.18[Bb]	2.16±0.14[Aa]	2.09±0.20[Aa]	1.77±0.22[Bb]
组氨酸 His	0.69±0.03	0.60±0.05	0.68±0.08	0.73±0.06
精氨酸 Arg	1.25±0.19[b]	1.48±0.18[a]	1.30±0.20[b]	1.32±0.23[b]
总氨基酸 TAA	17.99±2.43	21.01±2.65	20.24±3.03	19.90±2.21
必需氨基酸 EAA	7.34±1.79	8.94±1.93	8.40±1.66	8.42±1.74
鲜味氨基酸 DFAA	7.21±1.62	8.54±1.47	8.04±1.83	7.76±1.51

表 8 桑叶粉对新西兰白兔腿肌中氨基酸含量的影响

Table 8 Effects of mulberry leaf powder on amino acid contents in leg muscle of New Zealand White rabbits %

项目 Items	对照组 Control group	试验Ⅰ组 Trial group Ⅰ	试验II组 Trial group Ⅱ	试验III组 Trial group Ⅲ
天冬氨酸 Asp	1.72±0.19[b]	2.03±0.23[a]	1.98±0.20[a]	1.80±0.33[b]
苏氨酸 Thr	0.84±0.04	0.92±0.06	0.88±0.04	0.90±0.05
丝氨酸 Ser	0.81±0.06	0.84±0.03	0.76±0.05	0.79±0.04
谷氨酸 Glu	2.60±0.29	2.73±0.30	2.75±0.32	2.68±0.27
脯氨酸 Pro	0.81±0.03	0.75±0.07	0.83±0.05	0.80±0.06
甘氨酸 Gly	0.79±0.08[Bb]	0.80±0.06[Bb]	1.06±0.09[Aa]	0.87±0.07[Bb]

丙氨酸 Ala	0.86±0.10	0.91±0.10	1.13±0.14	1.02±0.12
半胱氨酸 Cys	0.23±0.02	0.25±0.01	0.26±0.04	0.25±0.03
缬氨酸 Val	1.04±0.12[a]	1.17±0.15[a]	1.00±0.19[a]	0.81±0.17[b]
蛋氨酸 Met	0.65±0.07[a]	0.68±0.04[a]	0.61±0.06[a]	0.43±0.09[b]
异亮氨酸 Ile	0.87±0.11	0.84±0.17	0.90±0.15	0.88±0.13
亮氨酸 Leu	1.59±0.18	1.65±0.23	1.69±0.19	1.71±0.20
酪氨酸 Tyr	0.77±0.16[Bb]	1.00±0.18[Aa]	0.86±0.14[ABab]	0.94±0.19[Aa]
苯丙氨酸 Phe	0.70±0.10	0.83±0.10	0.80±0.12	0.75±0.13
赖氨酸 Lys	1.73±0.21	1.81±0.20	1.85±0.19	1.88±0.17
组氨酸 His	0.65±0.06	0.61±0.04	0.66±0.09	0.64±0.07
精氨酸 Arg	1.24±0.21	1.38±0.19	1.27±0.24	1.33±0.20
总氨基酸 TAA	17.90±3.12	19.20±2.85	19.26±2.77	18.48±2.94
必需氨基酸 EAA	7.42±1.53	7.90±1.76	7.73±1.94	7.36±1.68
鲜味氨基酸 DFAA	7.21±1.89	7.85±1.71	8.19±1.63	7.70±1.79

3 讨 论

3.1 桑叶粉对新西兰白兔免疫与抗氧化功能的影响

桑叶中含有丰富的黄酮类分子化合物、维生素 C、超氧化物歧化酶和多糖，能够清除机体内自由基、过氧化氢和脂质过氧化物等，从而抑制动物体内自由基诱导的氧化损伤，保护动物健康。Doi 等[9]从桑叶中分离出 9 种类黄醇，其作业主要是清除机体内的自由基、脂质过氧化物等有害物质。Du 等[10]通过 1，1-二苯基-2-三硝基苯肼（DPPH）自由基清除试验证明，桑叶中含有的青花素是一种良好的抗氧化物质。本试验测定了新西兰白兔血清中 ACP、LMZ 的活性，IL-2、IL-6 的含量，SOD、CAT 的活性，MDA 含量及 T-AOC 的变化，来反映机体的免疫与抗氧化功能。ACP、LMZ、IL-2、IL-6 分别参与机体的特异性和非特异性免疫反应，在机体正常防御和免疫反应中能够保持机体生理平衡，可作为衡量机体免疫功能的重要指标[11]。SOD 和 CAT 是机体重要的抗氧化系统组成部分，其活性高，则氧化能力强。T-AOC 是用于判断机体抗氧化系统功能的综合性指标，它的高低程度反映机体抗氧化酶系统和非酶系统对应激刺激的代偿能力[12]。而 MDA 是脂质过氧化反应形成的终产物，能够破

坏细胞膜的完整性，影响细胞膜的正常功能，因此也能作为反映机体抗氧化功能的指标[13]。MDA 含量越低，抗氧化能力越强。

本试验研究结果显示，不同添加水平的桑叶粉对血清 ACP 和 LMZ 活性具有不同程度的促进作用。桑叶粉对血清 IL-6 含量有显著提高作用。各试验组血清中 SOD、CAT 活性和 T-AOC 均较对照组提高，且 MDA 含量均显著低于对照组，说明添加桑叶粉的各试验组的抗氧化能力都得到明显提高，尤其添加是 15%~20%桑叶粉的组，表明了桑叶粉具有较强的增强体内免疫与抗氧化功能的作用。

3. 2　桑叶粉对新西兰白兔肌肉风味的影响

研究发现，影响肉类及其制品的鲜香味有两大物质：一类是氨基酸，另一类是核苷酸类物质，包括 5′-肌苷酸、5′-黄苷酸、5′-鸟苷酸。其中，肌苷酸是构成食物鲜味的主要成分。对鲜味有增强作用，对酸味和苦味有抑制作用，可在很大程度上提高肉的鲜香味[14]。目前，国际上已把肌苷酸作为衡量肉质鲜味的一项重要指标[15]。肉中氨基酸的含量、种类及比例也是影响肉风味的重要因素[16]。形成肉香味所必需的前体氨基酸主要包括谷氨酸、天冬氨酸、甘氨酸、丙氨酸和精氨酸这 5 种鲜味氨基酸[17]，其含量越高，则肉的风味越好。据报道，肌肉的风味也受脂肪的影响，脂肪在肌肉内的含量和分布会直接影响肌肉的风味[18]。脂肪酸是构成脂肪的重要化学物质，对肉质研究的结果表明肌肉中脂肪酸的种类及组成是决定脂肪组织理化性质、影响肉质风味的重要因素，也是评定肌肉风味的重要指标之一[19-20]。Migdal 等[21]研究指出，胴体脂肪中多不饱和脂肪酸的含量越高，肉的风味和食用价值越高。

本试验结果显示，饲粮中添加 15%~20%的桑叶粉能够提高肌肉中肌苷酸、不饱和脂肪酸含量，改变肌肉中氨基酸的组成及比例，提高了鲜味氨基酸的含量，说明桑叶在改善肉鲜味方面确实有很好的效果。

4　结　论

饲粮中添加 15%~20%的桑叶粉不仅能提高新西兰白兔的免疫与抗氧化功能，还能提高肌肉中肌苷酸的含量，改变肌肉中氨基酸和脂肪酸的组成与比例，从而改善兔肉风味和营养价值。

参考文献：

[1]　杜周和，刘俊风，左艳春．桑叶的营养特性及其饲料开发利用价值[J]．草业科

学,2011,20(5):192–200.

[2] 中国农业科学院蚕业研究所.中国桑树品种[M].北京:农业山版社,1993:1–6.

[3] SÁNCHEZ M D.World distribution and utilization of mulberry and its potential for animal feeding[C]//Mulberry for Animal Production:Proceedings of an Electronic Conference Carried Out between May and August 2000.Rome:FAO,2002:9–16.

[4] 赵骏,高岚.桑叶多糖的降糖降脂作用[J].天津中医药,2004,21(6):505–506.

[5] 常文环.桑叶粉对肉鸡生长性能、血清尿素氮和肉品质的影响[J].当代畜禽养殖业,2007(1):61–63.

[6] 吴东,钱坤,周芬,等.淮南麻黄鸡日粮中添加不同比例桑叶对其生长性能、肉品质和血清指标的影响[C]//安徽省生态健康养殖与畜牧业可持续发展学术研讨会暨第二届畜牧兽医青年学术交流会论文集.合肥:安徽省畜牧兽医学会,2013.

[7] 郭建军,邱殿锐,李晓滨,等.日粮鲜桑叶对育肥猪生长性能和肉质的影响[J].畜牧与兽医,2011,43(9):47–50.

[8] 石艳华,杨晓东,马双马,等.桑叶粉替代玉米豆粕饲喂肉兔试验[J].黑龙江畜牧兽医,2007(7):72–73.

[9] DOI K,KOJIMA T,MAKINO M,et al.Studies on the constituents of the leaves of *Morus alba* L[J].Chemical and Pharmaceutical Bulletin,2001,49(2):151–153.

[10] DU Q,ZHENG J,XU Y.Composition of anthocyanins in mulberry and their antioxidant activity[J].Journal of Food Composition and Analysis,2008,21(5):390–395.

[11] 谢秩勋,刘雄,陈奉,等.热负荷对血清溶菌酶活性的影响[J].中国免疫学杂志,1997,13(3):148–149.

[12] HALLIWELL B,GUTTERIDGE J M.The definition and measurement of antioxidants in biological systems[J].Free Radicals Biology and Medicine,1995,18(1):125–126.

[13] 史东辉,陈俊锋,赵连生,等.唇形科植物提取物对肉鸡血清抗氧化功能和鸡肉脂类氧化的影响研究[J].中国畜牧杂志,2013,49(7):63–67.

[14] 李耀.浅谈鸡肉风味物质的呈味机理[J].食品工业科技,2011,32(3):446–450.

[15] 吕东坡,吕广磊,石振兴,等.肌苷酸的生成降解机理探讨[J].中国调味

品,2009,34(6):36–40.

[16] 李铎.食品营养学[M].北京:化学工业出版社,2011.

[17] 岳永生,陈鑫磊,牛庆恕,等.四种不同类型鸡肌肉品质的比较研究[J].中国畜牧杂志,1996,32(2):31–32.

[18] 曾勇庆,王慧,储明星.小尾寒羊肉品理化性状及食用品质的研究[J].中国畜牧杂志,2000,36(3):6–8.

[19] 王毅,贺稚非,陈红霞,等.不同畜禽肌肉脂肪酸组成的对比分析[J].食品工业科技,2013,34(18):123–126.

[20] 翁新楚,董新伟,任国谱.EPA 和 DHA 的生理功能及其氧化稳定性[J].生物工程进展,1994,14(6):56–60.

[21] MIGDAL W,BARTECZKO J,BOROWIEC F,et al.The influence of dietary levels of essential fatty acids in full-dose mixtures on cholesterol level in blood and tissues in fatteners[J].Advances in Agricultural Science,2000,7(1):43–48.

Effects of Mulberry Leaf Powder on Immune and Antioxidant Functions and Muscle Flavor of New Zealand White Rabbits

WANG Manman[1,2] YAN Xiaorong[1,2] YANG Naisu[3] CHEN Yang[1,2] ZHU Cigen[3] PANG Yulai[3] WU Xinsheng[1,2*]

(1. *College of Animal Science and Technology*, *Yangzhou University*, *Yangzhou* 225009, *China*; 2. *Jiangsu Key Laboratory of Animal Genetics & Breeding and Molecular Design*, *Yangzhou* 225009 ,*China*; 3. *Jinling Rabbit Farm of Jiangsu Province*, *Jiangning* 210041, *China*)

Abstract: This study was aimed to investigate the effects of adding different levels of mulberry leaf powder in the diet on immune and antioxidant function and muscle flavor of New Zealand white rabbits. A total of 120 weaned New Zealand white rabbits at the age of 35 days were randomly divided into 4 groups with 3 replicates per group and 10 rabbits (half male and half female) per replicate. Rabbits in the 4 groups were fed experimental diets supplemented with 0 (control group), 15% (trial group Ⅰ), 20% (trial group Ⅱ) and 25%(trial group Ⅲ) mulberry leaf powder, respectively. The experimental period lasted for 35 days. The results showed that serum acid phosphatase (ACP) activity and serum interleukin-6 (IL-6) content in trial groups Ⅰ and Ⅱ were significantly higher than those in control group (P<0.05). With the mulberry leaf powder supplemental level increasing, serum lysozyme (LMZ) activity was increased, and there were significant differences between trial groups Ⅱ and Ⅲ and control group (P<0.05). Serum catalase (CAT) activity in trial group Ⅰ was significantly higher than that in control group (P<0.01). Serum malondialdehyde (MDA) content in trial groups was significantly lower than that

*Corresponding author, professor, E-mail: xswu@yzu.edu.cn (责任编辑 菅景颖)

in control group ($P<0.05$), but no significant differences were found among trial groups ($P>0.05$). With the mulberry leaf powder supplemental level increasing, serum total antioxidant capacity (T-AOC) was increased, and it in trial groups was significantly higher than that in control group ($P<0.05$). The inosinic acid （IMP） content in *longissmus dorsi* muscle in trial groups Ⅰ and Ⅱ was significantly higher than that in control group ($P<0.05$), and the IMP content in leg muscle in trial groups Ⅱ and Ⅲ was significantly higher than that in control group ($P<0.05$). The contents of essential amino acid, delicious amino acid, total amino acid and polyunsaturated fatty acid in *longissmus dorsi* and leg muscles in trial groups Ⅰ and Ⅱ were higher than those in control group ($P>0.05$). Therefore, the results show that the mulberry leaf powder can improve the immune and antioxidant functions and muscle flavor of New Zealand white rabbits, and the optimal supplemental level is 15% to 20%.

Key words: mulberry leaf powder; New Zealand white rabbits; inosine acid; flavor